

13 Fysiologi og træning

AEROB OG ANAEROB ENERGIOMSÆTNING

ENERGIGIVENDE STOFSKIFTEPROCESSE

"Efter 24 sekunder og én vejtrækning er begejstret Blume tilbage på toppen" lød en overskrift på Politikens sportssider den 3. april 2017. Historien var, at OL-guldvinderen Pernille Blume efter en længere pause ved sit første stævne efter OL i 2016 svømmede 50 meter crawl på 24,14 sekunder og dermed drøede ind på andenpladsen på årets verdensrangliste. Men overskriften viser også en anden interessant ting: Elitesvømmere trækker kun vejret en enkelt gang, når de svømmer 50 meter! Normalt forbinder vi anstrengelser i idræt med voldsom vejtrækning og stakåndethed, fordi der skal skaffes ilt til musklerne. Men hvordan kan 50-metersvømmere klare præstationen med kun en enkelt vejtrækning? Svaret er fysiologisk: Korterevarende præstationer klares ved et såkaldt anaerobt stofskifte (*an* betyder uden – og *aer* betyder luft, ligesom i det engelsk *air*), mens længerevarende præstationer klares ved et aerobt stofskifte, hvor det er iltoptagelsen, der er afgørende.

Når muskler arbejder, bruger de energi, som de får fra et særligt stof, der kaldes ATP (adenosintrifosfat*, se figur 13.1. I hver eneste muskelcelle er der et lille lager af stoffet ATP, og det indeholder energi på en form, som kan få muskelcellens mikrotråde til at trække sig sammen. Da lageret af ATP i muskelcellen er meget lille, kan ATP kun levere energi til få sekunders muskelarbejde. Derfor må der hele tiden dannes nyt ATP, og det sker ved forskellige energigivende processer i vores stofskifte.

Anaerobe processer

Ved korterevarende (dvs. under 2 minutter) maksimale eliteidrætspræstationer, som fx 50 meter crawl, sprint og spring og kast, er energiforbruget (pr. sekund) meget stort, og lunger og kredsløb kan ikke nå at levere ilt hurtigt nok. Musklerne får da i stedet ATP ved **anaerobe processer**. Ved disse processer spaltes energirige molekyler. Det foregår lynhurtigt, og derfor kan ATP leveres med meget stor hastighed. Der

* Inden for kemi skrives *fosfat* phosphat og forkortes derfor *P*.



Pernille Blume arbejder anaerobt under crawl.

findes to forskellige anaerobe processer: spaltning af kreatinfosfat og spaltning af glukose (kulhydrater) til mælkesyre.

Den hurtigste proces er spaltning af kreatinfosfat (KP):
 kreatinfosfat $\rightarrow$ kreatin + fosfat + energi
 $KP \rightarrow K + P + ATP$

I musklerne kan lageret af ATP plus lageret af kreatinfosfat dække energitilførslen ved maksimalt eksplosivt arbejde i cirka 6 sekunder. Varer det anaerobe arbejde længere tid, må ATP leveres ved spaltning af kulhydrat til mælkesyre. Kulhydratet, der spaltes til mælkesyre, kan være glukose fra blodet eller glykogen, der findes lagret i små korn i muskelcellerne.

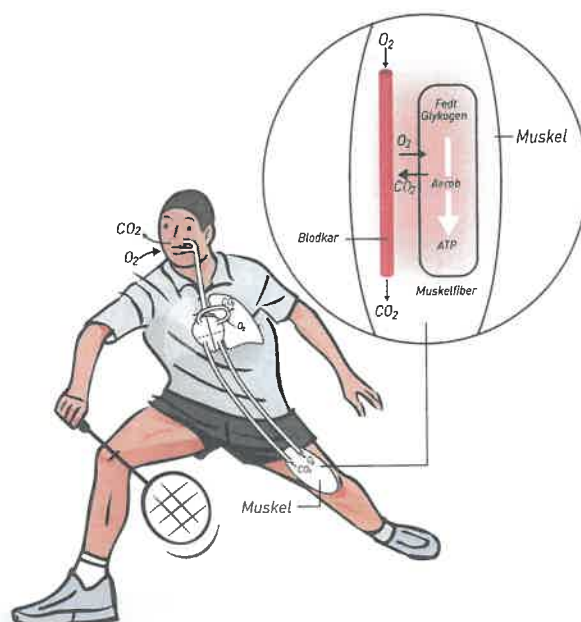
Spaltning af glukose til mælkesyre:
 glukose $\rightarrow$ mælkesyre + energi
 $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_3H_6O_3 + 2 ATP$

Når kroppen i et par minutter har udført et maksimalt hårdt anaerobt arbejde, som fx under et 800-meterløb, tvinges løberen til at stoppe eller at sænke tempoet. Benene føles blytunge! Ved et anaerobt arbejde ophobes både kalium-ioner og mælkesyre i muskelcellens omgivelser. Ofte beskrives det som, at man syrer til. Men ny forskning har dog vist,

at det snarere er ophobningen af kalium-ioner, end det er mælkesyre, der giver fornemmelsen af tunge ben. Måling af koncentrationen af mælkesyre i blodet er dog en god indikator for, hvor hårdt det udførte anaerobe arbejde er.



Hvilken anaerob proces er vigtigst under henholdsvis stangspring, 800-meterløb, kuglestød og 400-meterløb?



FIGUR 13.1. Ilten transporteres ind i badmintonspilleren gennem lunger og kredsløb ud til musklerne, hvor den nedbrydes aerobt og danner ATP, som bruges ved muskelkontraktion.

Aerobe processer

Når man løber en tur eller laver idrætspræstationer, der ikke er direkte eksplosive, og som man er i stand til at udføre gennem længere tid (i over 2 minutter), leveres energien til dannelse af ATP ved **aerobe processer**. De kræver ilt, og den leveres af lunger og kredsløb. Muskelcellerne bruger ilt til at nedbryde kulhydrater eller fedtsyrer til kuldioxid og vand. Processerne kaldes under et for **respiration**.

Respiration af kulhydratet glukose:

glukose + ilt $\rightarrow$ kuldioxid + vand + energi



Glukosen får muskelcellerne enten fra blodet eller fra glykogen, der som nævnt er oplagret inde i muskelcellen.

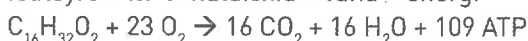
TABEL 13.1. Vigtigste energigivende processer ved maksimale præstationer af forskellig varighed.

Proces	Varighed
Spaltning af kreatinfosfat	0-8 sek.
Spaltning af glukose til mælkesyre	8 sek.-2 min.
Respiration	Over 2 min.

? Hvor er det procentvise bidrag af respiration af fedtsyre størst - under et maratonløb eller under et 5-kilometerløb?

Respiration af fedtsyre:

fedtsyre + ilt $\rightarrow$ kuldioxid + vand + energi



(I eksemplet er fedtsyren palmitinsyre)

Muskelcellerne optager fedtsyrerne fra blodet. Fedtsyrerne stammer fra kroppens fedtlagre, fx i bugen eller under huden. De arbejdende muskler udsender signalstoffer til fedtlagrene, der reagerer ved at frigive fedtsyrer til blodet, hvorefter fedtsyrerne optages og bruges i musklerne. Så selvom det er fx benmusklerne, der arbejder, er det fedt fra bl.a. maven, der bliver forbrændt.

Respiration af glukose og glykogen leverer ATP hurtigere end respiration af fedtsyrer. Når man arbejder aerobt med høj intensitet, fx løber hurtigt, respirerer musklerne glukose, mens de respirerer fedtsyrer, når de arbejder ved lavere intensitet. Hvis du fx går en tur eller jogger relativt langsomt, respireres fedtstof, men når du løber en Cooper-test (se side 98), respireres glukose og glykogen.

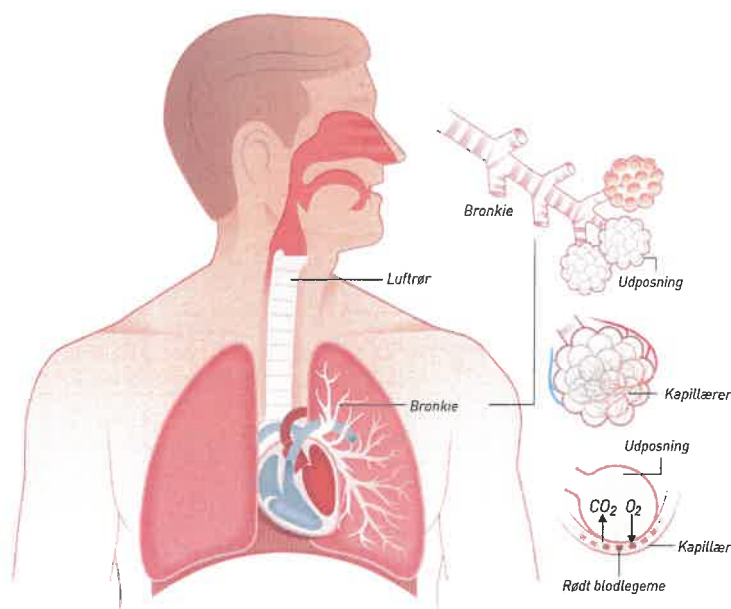
Iltransporten

Lunger, hjerte og blodårer fyldt med blod transporterer ilten ud til muskelcellerne, og disse organer er derfor vigtige for evnen til at udføre aerobe processer. Inde i muskelcellerne forbruges ilten i små celleorganeller, der kaldes mitokondrier.

LUNGERNE

Luften trækkes ind gennem næsen eller munden og kommer ind i luftrøret (figur 13.2). Luftrøret deler sig i to store grene, **hovedbronkierne**, der forsyner de to lunger med luft. Bronkierne deler sig igen i stadig mindre forgreninger og ender i mikroskopiske udposninger. Tæt op ad disse udposninger ligger **kapillærer**, der er hårfine blodkar, som ilten diffunderer (siver) ind i. På den måde kommer ilten fra atmosfære til blod. Kuldioxid, der er et affaldsstof fra respirationen, bevæger sig den modsatte vej: Det frigives fra kapillærerne til de små udposninger og kommer med udåndingsluften over i atmosfæren.

FIGUR 13.2. Lungernes opbygning. Til højre er der zoomet ind på udposninger og kapillærer.



Hjerte og kredsløb

Hjertet pumper blod rundt i to kredsløb, det lille kredsløb og det store kredsløb. **Det lille kredsløb** går fra hjertet til lungerne og retur til hjertet. **Det store kredsløb** går fra hjertet til kroppens øvrige organer, fx musklerne, og retur til hjertet.

Kredsløbet er opbygget af forskellige typer blodkar. De største er **arterierne**, som går fra hjertet ud til organerne. Når du måler din puls enten ved at mærke på håndleddet eller omkring struben, mærker du, hvordan blodet pumpes ud i arterierne. Arterierne forgrener sig i stadig mindre blodkar. De mindste forgreninger kaldes **kapillærer**. Små molekyler, som ilt, glukose og aminosyrer, kan sive ud af dem og ind i de omkringliggende celler, som på den måde får næringsstoffer tilført. Omvendt siver cellernes affaldsstoffer ind i kapillærerne, så de kan blive ført væk fra musklerne. Blodet løber tilbage mod hjertet i blodkar, der kaldes vener.

? Gør rede for iltens vej fra atmosfære til muskel.

HJERTET

Menneskets hjerte er en muskel. Det har en højre og en venstre halvdel, og hver halvdel har et forkammer og et hjertekammer. De er adskilt af hjerteklapper, som sørger for, at blodet kun strømmer én vej.

Når hjertemuskulaturen trækker sig sammen, pumper højre hjertekammer blod ud i det lille kredsløb mod lungerne via lungearterierne (se figur 13.3).

I lungerne optager blodet ilt, og kuldioxid udskilles. Blodet returnerer herefter til hjertets venstre forkammer. Herfra føres det ned i

venstre hjertekammer, som nu pumper blodet ud i det store kredsløb til kroppens muskler, organer og væv. Her optages ilt, og kuldioxid afgives til blodet. Fra muskler, organer og væv kommer blodet tilbage til hjertets højre forkammer og herfra videre ned til højre hjertekammer, der igen sender det iltfattige blod til lungerne, hvor det ilttes på ny. På den måde sørger kredsløbet hele tiden for at forsyne muskler, organer og væv med ilt.

Minutvolumen

Et voksent menneske har ca. 4-6 liter blod i kredsløbet.

I blodet findes **de røde blodlegemer**, der transporterer ilt, og kuldioxid til musklerne. Når hjertemuskulaturen trækker sig sammen, pumper hjertet cirka 100 ml blod ud. Det kaldes hjertets **slagvolumen**, og den afhænger af træningstilstanden. Elitecykelrytterses slagvolumen kan være næsten dobbelt så stor som utrænede slagvolumen.

Antallet af gange, hjertet trækker sig sammen pr. minut, kaldes **puls**. Hvilepuls, dvs. pulsen, når man er i afslappet tilstand, er i gennemsnit på 60 slag pr. minut for mænd og 70 slag pr. minut for kvinder, men kan variere noget. Jo bedre kondition man er i, jo lavere bliver hvilepuls.

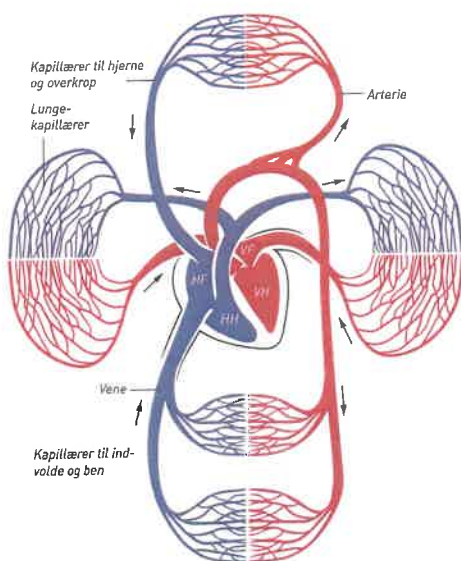
Det højeste, pulsen kan komme op på, kaldes **maksimalpuls**. Den er for unge mennesker på ca. 200 slag pr. minut. Den falder med alderen efter formelen:

$$\text{Maksimalpuls} = 208 - (0,7 \times \text{alder})$$

Mængden af blod, der pumpes rundt pr. minut, kaldes **minutvolumen**.

Minutvolumen er produktet af slagvolumen og pulsen. Den varierer mellem 6 liter/min. og 30 liter/min., afhængig af belastningen og træningstilstand.

$$\text{Minutvolumen} = \text{slagvolumen} \times \text{puls}$$



FIGUR 13.3. Kredsløbet.
Den røde farve viser, hvor blodet er iltrigt, mens den blå farve viser, hvor blodet er iltfattigt.

? Beregn din maksimalpuls.